

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

## بازیابی الکتروشیمیایی زغال فعال گرانوله اشباع شده از رودامین ب در راکتور

### جریان برگشتی

جلال بصیری پارسا، فرناز جعفری \*

همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده شیمی، گروه شیمی کاربردی

**چکیده:** در این مقاله یک فرآیند الکتروشیمیایی جدید برای بازیابی زغال فعال اشباع شده توسط رودامین ب در یک راکتور جریان برگشتی، به منظور کاهش زمان بازیابی و افزایش کارایی پیشنهاد شده است. این فرآیند توسط روش پاسخ سطح مبتنی بر طراحی مرکب مرکزی بهینه سازی و مدل سازی شد و طبق معادله درجه دوم درصد کارایی بازیابی زغال فعال به پارامترهای بازیابی مثل دانسیته جریان، شدت جریان الکترولیت و زمان ارتباط داده شد. بالا بودن ضریب همبستگی موققت این مدل راتایید می کند. در شرایط بهینه میزان بازیابی به ۶۸/۶۵٪ در ۱/۵ ساعت رسید و فرآیند بازیابی پس از ۴ بار تکرار چرخه جذب - بازیابی قابل قبول است. آلاینده مورد بررسی در این پژوهش رنگ رودامین ب است که توسط زغال فعال گرانوله جذب شده و بازیابی زغال فعال از طریق تخریب این آلاینده به وسیله ی حمله ی گونه ی فعال تولید شده در فرآیند اکسیداسیون الکتروشیمیایی در یک راکتور جریان برگشتی صورت می گیرد.

**واژه های کلیدی:** بازیابی الکتروشیمیایی، جذب زغال فعال گرانوله، رودامین ب، راکتور جریان برگشتی.

#### مقدمه

بنابراین بازیابی زغال فعال از جهت اقتصادی و زیست محیطی اهمیت بسیار بالایی دارد و روش های متفاوتی برای بازیابی وجود دارد که شامل بازیابی گرمایی، شیمیایی، الکتروشیمیایی، با استفاده از امواج مافوق صوت و بازیابی با استفاده از سیال فوق بحرانی است [۲]. در بین این روش ها، بازیابی گرمایی به طور گسترده ای در صنایع مورد استفاده قرار می گیرد. هرچند در این روش زمان و انرژی زیادی با هزینه ی بالا صرف می شود حدود ۱۰٪ زغال فعال در این فرآیند از بین می رود [۳]. اخیراً بازیابی زغال فعال توسط روش اکسیداسیون الکتروشیمیایی

فرآیند جذب به دلیل کارایی بالا و قیمت پایین، نسبت به سایر روش ها، برای حذف آلاینده ها ارجحیت دارد. از بین جاذب های مختلف، زغال فعال به دلیل مساحت سطح بالا و توزیع اندازه حفره مناسب به طور گسترده ای در فرآیندهای تصفیه آب مورد استفاده قرار می گیرد. اما اگر زغال فعال اشباع شده به طور مناسبی بازیابی نشود استفاده از زغال فعال اقتصادی نبوده و همچنین مشکلات زیست محیطی را به دنبال خواهد داشت [۱].

\* فرناز جعفری: f.jafari1991@yahoo.com

می شود. تعیین مقدار رودامین ب باقیمانده پس از جذب توسط اسپکتروفوتومتر (Jasco-v 630) اندازه گیری و از منحنی کالیبراسیون برای تعیین غلظت استفاده شد. درصد جذب برای زغال فعال تازه یا بازیابی شده از طریق رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\text{درصد جذب} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن  $C_0$  غلظت اولیه رودامین ب و  $C_e$  غلظت تعادلی رودامین ب است. و کارایی بازیابی از طریق مقایسه درصد جذب زغال فعال تازه با درصد جذب زغال فعال بازیابی شده و از طریق معادله (۲) محاسبه می شود:

$$RE\% = \frac{\text{درصد جذب زغال فعال بازیابی شده}}{\text{درصد جذب زغال فعال تازه}} \times 100 \quad (2)$$

به منظور مدل سازی و بهینه سازی پارامترهای موثر بر بازیابی الکتروشیمیایی از روش پاسخ سطح مبتنی بر طراحی مرکب مرکزی استفاده شد که در این بررسی پارامترها به ترتیب شامل دانسیته جریان ( $X_1$ ) (۵-۱ میلی آمپر بر سانتی متر مربع)، زمان ( $X_2$ ) (۲/۵-۰/۷۵ ساعت) و شدت جریان الکترولیت ( $X_3$ ) (۵۰۰-۱۰۰ میلی لیتر بر دقیقه) و پاسخ، درصد کارایی بازیابی زغال فعال گرانوله اشباع شده از رودامین ب است.

### نتایج و بحث

در فرآیند بهینه سازی، پاسخ ها می توانند به آسانی توسط مدل های خطی یا درجه دوم به پارامترهای انتخاب شده ارتباط داده شوند. مدل درجه دوم که شامل مدل خطی نیز هست، که در معادله (۳) آمده است:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^K \beta_j X_j + \sum_{j=1}^K \beta_{jj} X_j^2 + \sum_{i < j=2}^K \sum_{i=1}^K \beta_{ij} X_i X_j + e_i \quad (3)$$

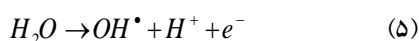
که در آن  $Y$  پاسخ سطح،  $K$  تعداد فاکتورها،  $X_i$  و  $X_j$  متغیرها هستند  $\beta_0$  ضریب ثابت و  $\beta_i$ ،  $\beta_{jj}$  و  $\beta_{ij}$  ضرایب برهم کنش خطی، درجه دوم و عبارات درجه دوم است و  $e_i$  میزان خطاست داده های درصد بازیابی زغال فعال بر اساس معادله شماره (۲) با

مورد توجه قرار گرفته است. مکانیسم بازیابی زغال فعال در روش الکتروشیمیایی بر واجذب آلاینده از سطح زغال و سپس تخریب آلاینده توسط فرآیند اکسیداسیون استوار است که تلاش های بسیاری برای بهینه سازی بازیابی الکتروشیمیایی زغال فعال انجام گرفته است [۴-۶]، هرچند زمان طولانی برای دست یافتن به درصد بالا بازیابی مورد نیاز است و این عامل اقتصادی بودن این روش را تحت الشعاع قرار می دهد. در این پژوهش، بازیابی الکتروشیمیایی زغال فعال گرانوله اشباع شده با رودامین ب با تاکید بر بهبود انتقال جرم بررسی شده است. آلاینده مورد بررسی در این پژوهش رنگ رودامین ب است، به دلیل پایداری بالای رنگ رودامین ب، تصفیه پساب های حاوی این رنگ به جهت حفاظت زیست محیطی دارای اهمیت است. همچنین در این پژوهش از روش پاسخ سطح بر اساس طراحی مرکب مرکزی برای مدل سازی و بهینه سازی پارامترهای موثر بر فرآیند استفاده شده است.

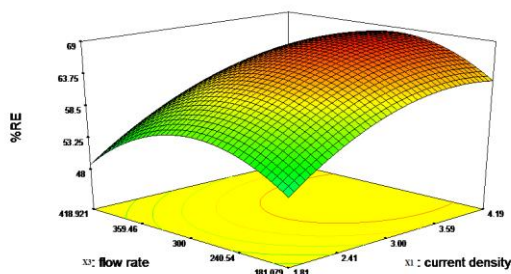
### بخش تجربی

بخش تجربی این پژوهش شامل سه مرحله اشباع سازی اولیه زغال فعال تازه، بازیابی و اشباع سازی زغال فعال بازیابی شده می باشد. و تمامی مواد آزمایشگاهی از شرکت مرک تهیه شده بودند. فرآیند اشباع سازی زغال فعال (تازه یا بازیابی شده) به صورت زیر انجام شد: ۴ گرم از زغال فعال شسته شده در مجاورت محلول ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر از رودامین قرار گرفت و پس از گذشت ۲۴ ساعت زغال فعال اشباع شده به مدت ۵ ساعت در آن قرار گرفت و به منظور بازیابی الکتروشیمیایی در راکتور جریان برگشتی وارد شد. شکل ۱ شماتیک راکتور مورد استفاده را نشان می دهد. در این راکتور آند از جنس تیتانیوم و کاتد از جنس استیل است. الکترولیت مورد استفاده سدیم سولفات (۵۰۰ میلی لیتر و با غلظت ۰/۱ مولار) توسط یک پمپ وارد راکتور شده و از خروجی خارج می شود، در نتیجه زغال فعال شناور می شود. یک فلومتر (Ismatec-MCP) برای کنترل شدت جریان و از منبع جریان مستقیم (BK-precision) برای اعمال ولتاژ استفاده شد. پس از پایان بازیابی الکتروشیمیایی، مجدداً فرآیند اشباع سازی تکرار

جریان ۳/۸۱ میلی آمپر بر سانتی متر مربع و شدت جریان الکترولیت ۲۶۸/۴۹ میلی لیتر بر دقیقه تخمین زده شده است اثر شدت جریان الکترولیت بر درصد کارایی بازیابی زغال فعال تا محدوده ی خاصی افزایشی و سپس کاهش خواهد بود. شدت جریان الکترولیت نقش موثری در انتقال جرم دارد که می تواند در فرآیند الکتروشیمیایی واجذب و تخریب آلاینده تاثیر داشته باشد. مهمترین نقش در بازیابی زغال فعال را اکسیداسیون آندی بر عهده دارد و اکسیداسیون آندی نیز تحت تاثیر دانسیته ی جریان است. مکانیسم تخریب آلاینده بر مبنای تولید یک اکسیدانت قوی، رادیکال هیدروکسیل، در سطح آند است که به صورت زیر می باشد [۷]:

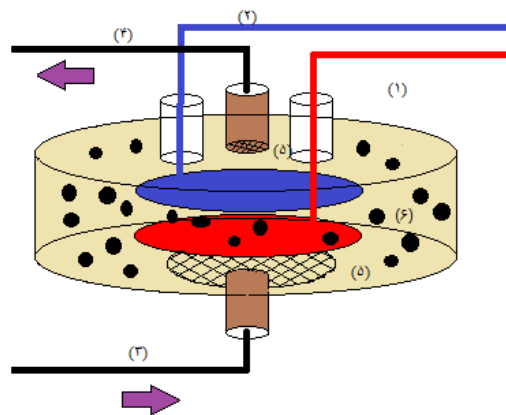


بنابراین انتظار می رود تخریب الکتروشیمیایی رنگ رودامین ب در دانسیته جریان بالاتر افزایش یابد، در نتیجه دانسیته جریان بالاتر باعث کاهش زمان تخریب آلاینده و کاهش زمان بازیابی خواهد شد. زمان بازیابی نیز پارامتر دیگری است که بر اقتصادی بودن فرآیند موثر است. با افزایش زمان، کارایی بازیابی زغال فعال نیز افزایش می یابد اما پس از ۱/۶۴ ساعت صرف زمان بیشتر، تغییر مشهودی در میزان بازیابی نخواهد داشت. تعداد دفعات بازیابی نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج تا ۴ بار تکرار چرخه جذب-بازیابی قابل قبول بود.



شکل ۲: نمودار سه بعدی پاسخ سطحی درصد کارایی بازیابی زغال فعال گرانوله اشباع شده از رودامین ب بر حسب دانسیته جریان و شدت جریان الکترولیت

استفاده از نرم افزار *design expert* محاسبه شد، که شامل آنالیز واریانس (*ANOVA*) برای محاسبه ی برهم کنش بین متغیرهای فرآیند و پاسخ می باشد. میزان موفقیت مدل چندجمله ای با مشخص کردن ضریب همبستگی تعیین شد.

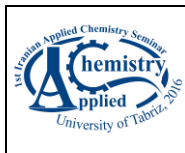


شکل ۱. شماتیک راکتور الکتروشیمیایی. (۱) آند، (۲) کاتد، (۳) ورودی از پمپ، (۴) خروجی از پمپ، (۵) فیلتر، (۶) زغال فعال گرانوله اشباع شده از رودامین ب.

اهمیت آماری توسط آزمون *F-Test* مورد بررسی قرار گرفت. معادله (۴) با توجه به نتایج حاصل از واریانس و بر اساس معادله (۳) بدست آمد:

$$\begin{aligned} \%RE = & +66.67 + 5.47X_1 + 2.10X_2 - 1.63X_3 \\ & - 2.65X_1X_2 + 1.48X_2X_3 - 6.98X_3^2 \end{aligned} \quad (4)$$

نتایج حاصل از آنالیز واریانس در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر  $R^2$ ،  $R_{adj}^2$  به یک نزدیک است که بسیار بالاست و تطابق خوبی بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده وجود دارد و این بدین معناست که مدل رگرسیون توانسته به خوبی رابطه بین متغیرهای وابسته (فاکتورها) و پاسخ (درصد کارایی بازیابی زغال فعال) را بیان کند. مقادیر قابل چشم پوشی عدم انطباق نشان می دهد مدل درجه دوم برای این بررسی مفید بوده است. برهم کنش اثر شدت جریان الکترولیت و دانسیته جریان بر درصد کارایی بازیابی زغال فعال توسط مدل *CCD* بررسی شد که نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است و بالاترین میزان بازیابی در دانسیته



جدول ۱ - آنالیز واریانس و تست عدم انطباق برای مدل درجه دو کاهش یافته در فرآیند بازیابی الکتروشیمیایی زغال فعال گرانوله اشباع شده از رودامین ب

اهمیت	Prob>F	F-Value	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	SOURCE
با معنی	<۰/۰۰۰۱	۱۵۲/۲۲	۱۸۲/۲۱	۸	۱۴۵۷/۶۷	مدل
			۱/۲۰	۱۱	۱۳/۱۷	باقیمانده
بی معنی	۰/۹۸۵۰	۰/۱۳	۰/۳۱	۶	۱/۸۳	عدم انطباق
			۲/۲۷	۵	۱۱/۳۳	خطای مطلق
				۱۹	۱۴۷۰/۸۴	مقادیر کلی

## منابع

## نتیجه گیری

[1] Huling S.G., Jones P.K., Ela W.P., Arnold R.G., Fenton-driven chemical regeneration of MTBE-spent GAC. *Water Res.*, 39: 2145-2153(2005),.

[2] Zhang H.P., Ye L.Y., Zhong H., Regeneration of phenol saturated activated carbon in an electrochemical reactor, *J.Chem. Technol. Biotechnol.*, 77 :1246-1250 (2002).

[3] Bagreev A., Rahman H., Bandoz T.J., Thermal regeneration of a spent activated carbon previously used as hydrogen adsorbent, *Carbon.*, 39: 1319-1326 (2001).

[4] Narbaitz R.M., cen J., Electrochemical regeneration of granular activated carbon, *Water Res.*, 28: 1771-1778 (1994).

[5] Zhang H., Regeneration of exhausted activated carbon by electrochemical method, *J.Chem. Eng.*, 85: 81-85(2002).

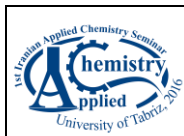
[6] Brown N.W., Roberts E.P.L., Electrochemical pretreatment of effluents containing chlorinated compounds using an adsorbent, *J. Appl. Electrochem.*, 21:(1991) 703-708.

[7] Zho M.H., Lei L.C., Electrochemical regeneration of activated carbon loaded with p-nitrophenol in a fluidized reactor. *J. Electrochemical acta*, 51: 4489-4496 (2006)

بازیابی الکتروشیمیایی زغال فعال گرانوله اشباع شده توسط رودامین ب در یک راکتور الکتروشیمیایی دارای جریان برگشتی مورد بررسی قرار گرفت که در آن تاکید ویژه‌ای بر انتقال جرم شده است. پارامترهای بازیابی از قبیل دانسیته‌ی جریان، شدت جریان الکتروولت و زمان بر اساس روش پاسخ سطح مبتنی بر طراحی مرکب مرکزی، مدل سازی و بهینه سازی شد. بالا بودن مقادیر  $R^2$ ,  $R_{adj}^2$  موفقیت این نرم افزار را در مدل سازی این فرآیند تایید می کند. شرایط بهینه برای بالاترین میزان بازیابی زغال فعال اشباع شده توسط رودامین ب (۶۸/۶۵٪) شامل دانسیته جریان ۳/۸۱ میلی آمپر بر سانتی متر مربع، شدت جریان ۲۶۸/۴۹ میلی لیتر بر دقیقه و زمان ۱/۶۴ ساعت، تعیین شد. در این راکتور زغال فعال در حالت شناور بود و انتقال اکسیدانت تولیدی توسط فرآیند الکتروشیمیایی به طور قابل توجهی بهبود یافت که باعث افزایش درصد کارایی بازیابی و کاهش زمان بازیابی شد.

## تقدیر و تشکر

از دانشگاه بوعلی سینا به دلیل حمایت از این پژوهش سپاسگزاریم.



## ***Electrochemical regeneration of granular activated charcoal saturated with Rhodamine B in a fluidized electrochemical reactor***

***Jalal Basiri Parsa, Farnaz Jafari\****

*Department of Applied Chemistry, Bu-Ali Sina University, Hamedan*

### ***Abstract:***

*This paper described a novel electrochemical reactor for the regeneration of granular activated charcoal saturated with Rhodamine B, aiming to reduce regeneration time and improve cost-effectiveness of the process by operation of granular activated charcoal in a fluidized mode. This process was modelled and optimized using response surface methodology (RSM) based on central composite design (CCD). Accordingly reduced quadratic model was developed to give the substrate regeneration efficiency percentage as function of effective parameters such as: current density, electrolyte flow rate and regeneration time. The fit of the model is checked by the determination coefficient ( $R^2$ ). In this case, the value of the determination coefficient ( $R^2 = 0.9910$ ) is indicated. Under the optimum condition, the regeneration efficiency could reach 68.65% in 1.64 h, and no significant decline was observed after four-time sequential adsorption-regeneration cycles, confirming the reuse feasibility of the regenerated activated charcoal. Granular activated charcoal regeneration was mainly due to the decomposition of dyes by the attack of activated species such as hydroxyl radical that were generated by electrochemical oxidation. The regeneration time has been decreased in the present modified process, indicating this regeneration process is much more potentially cost-effectiveness for application.*

***Keywords:*** *Electrochemical regeneration; Granular activated charcoal; Fluidized reactor; Central composite design (CCD); Rhodamine B.*

---

\*Corresponding author: [f.jafari1991@yahoo.com](mailto:f.jafari1991@yahoo.com)

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله